

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

データベース* (参考)

G 0 2 F 1/39

G 0 2 F 1/39

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-104608

(22) 出願日 平成11年4月12日 (1999. 4. 12)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 竹内 繁樹

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100065226

弁理士 朝日奈 宗太 (外1名)

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 AB22 AB40 BA03

CA02 DA03 EB12 GA04 GA10

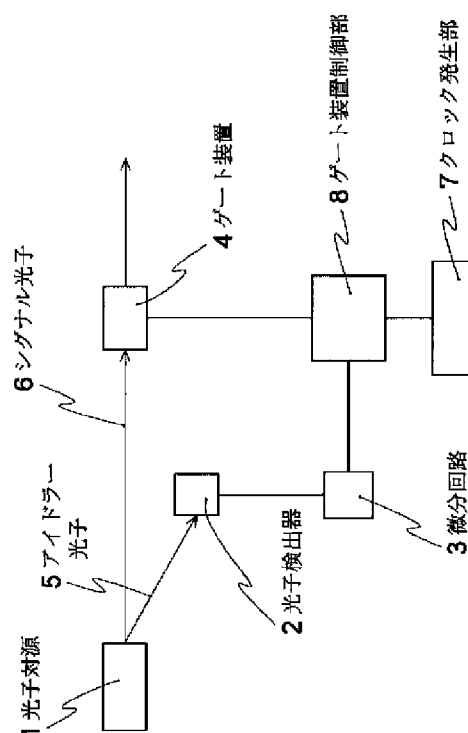
HA19

(54) 【発明の名称】 単一光子発生装置

(57) 【要約】

【課題】 パルス内にただ1つの光子を発生させる。

【解決手段】 シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えることを特徴とする単一光子発生装置。

【請求項2】 シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内の最初の光子検出器からの信号に対してのみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えることを特徴とする単一光子発生装置。

【請求項3】 前記光子対源として、ポンプ光光源と、前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求項1または2記載の単一光子発生装置。

【請求項4】 前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の単一波長 λ に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えることを特徴とする、請求項3記載の単一光子発生装置。

【請求項5】 前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の波長 λ_a 、 λ_b に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えることを特徴とする、請求項3記載の単一光子発生装置。

【請求項6】 前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求項3記載の単一光子発生装置。

【請求項7】 前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、擬位相整合型非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求項3から6のいずれかに記載の単一光子発生装置。

【請求項8】 前記シグナル光子の射出を制御するゲート装置として、シャッターを複数備えることを特徴とする、請求項1から7のいずれかに記載の単一光子発生装置。

【請求項9】 前記光子対から発生したシグナル光子を、その光子の射出を制御するゲート装置に到達させる光ファイバーを備えることを特徴とする、請求項1から8のいずれかに記載の単一光子発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光子一つずつに情報を載せることで盗聴者の発見を可能にする伝送システムである量子暗号通信システムなどに用いる光源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】量子暗号通信システムでは、光子一つずつに情報を載せることで、量子力学的な原理により盗聴者の発見を可能にする。しかし、もし同じ情報を2つ以上の光子に載せてしまえば、盗聴者によってそれらの光子の一部を利用され、盗聴者の存在を検出できない可能性がある。このように、理想的には最大でも1つの光子しか含まないパルスを利用する必要がある。このようなパルスとしては、1パルスあたりの光子の平均数 μ を約0.1になるように、レーザー光源からの光を減衰器によって減衰することが一般に行われている。このようにすることで、2つ以上の光子がパルス中に含まれる確率を減少できるが、しかしパルス中に1つの光子が含まれている確率も0.1程度に減少することになる。つまり、 $\mu=0.1$ の場合、10回に1度程度しか、実際に伝送が行われないことになる。

【0003】このような方法を改善する従来の技術の1例として、特表平8-505019号公報の、「量子暗号を使用したキー分配システムおよび方法」に記載されているものについて、図9を用いて説明する。図9において、9は非線型光学結晶5をポンプするためのポンプ光を発生するレーザーである。非線型光学結晶11では、ポンプ光の光子一つが確率的に2つの光子に発生するパラメトリック蛍光対が発生する。そのうちの一つの光子（ここでは、アイドラー光子と呼ぶ）は、光検出器およびゲートコントロール装置49により検出され、検出した場合はもう一方の光子（シグナル光子と呼ぶ）が通過するようにゲート装置4を開く。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の技術においては、次のような問題があった。

【0005】まず第一に、従来の方法では、検出器の反応時間内に光子対が2つ発生していた場合には、ゲート操作によって、2つのシグナル光子が射出され、パルス内に2つの光子が存在する場合がある、という欠陥があった。

【0006】また、従来の方法においては、またパルス内部での光子発生のタイミングを制御することはできなかった。

【0007】また、光子の到着を検出する検出器が、光子を検出していないにもかかわらずパルスを出力するいわゆる「ダークカウントパルス」を発生した場合、射出光子が存在しないような空の光パルスを出力することになり、効率が悪かった。

【0008】この発明は、このような問題点を解消するためになされたもので、パルス内にただ1つの光子を発

生させることを目的とする。

【0009】また、検出器のダークカウントパルスによる空の光パルスの発生を低減させることを目的とする。

【0010】また、パルス内部において、光子発生を特定のタイミングで発生させることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】この発明に係る単一光子発生装置は、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源と、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器と、クロック発生器と、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えたものである。

【0012】また、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源と、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器と、クロック発生器と、そのクロックによって規定される一定時間内の最初の光子検出器からの信号に対してのみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部と、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えたものである。

【0013】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の単一波長 a に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を設けたものである。

【0014】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の波長 a 、 b に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えたものである。

【0015】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えることを備えたものである。

【0016】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、擬位相整合型非線型光学媒質を備えたものである。

【0017】また、アイドラー光子の射出を制御するゲート装置として複数のシャッターを備えたものである。

【0018】また、光子対から発生したアイドラー光子を、その光子の射出を制御するゲート装置に到達させる光ファイバーを備えたものである。

【0019】この発明においては、アイドラー光子の光子の入射を光子検出器によって検出し、クロック発生器からのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみシグナル光子の射出を制御するゲート装置を開閉する。

【0020】また、アイドラー光子の光子の入射を光子

検出器によって検出し、クロック発生器からのクロックによって規定される一定時間内の最初の光子検出器からの信号に対してのみシグナル光子の射出を制御するゲート装置を開閉する。

【0021】また、ポンプ光光源からのポンプ光を入射させ、非線型光学媒質によって発生する発生時刻に相関をもつ光子対をアイドラー光子とシグナル光子として用いる。

【0022】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質の設置に当たり、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度を、そのチューニングカーブがある特定の単一波長 a に対応する直線に接するような角度に設定する。

【0023】また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質の設置に当たり、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の波長 a 、 b に対応する直線に接するような角度に設定する。

【0024】また、ポンプ光を導波路型の非線型光学媒質に入射する。

【0025】また、ポンプ光を擬位相整合型非線型光学媒質に入射する。

【0026】また、アイドラー光子の射出を複数のシャッターからなるゲート装置によって制御する。

【0027】また、光子対から発生したアイドラー光子を、光ファイバーを用いてその光子の射出を制御するゲート装置に到達させる。

【0028】

【発明の実施の形態】実施の形態1 図1はこの発明の一実施の形態の全体構成図である。図1において、1は発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、2はアイドラー光子5を検出する光子検出器、3は光子検出器から発生するシグナルパルスを微分する微分回路、8は微分回路3からの信号およびクロック発生部7からの制御クロックに対応してゲート装置4を制御するゲート装置制御部である。

【0029】図2に、この実施の形態の詳細な構成を示す。この実施の形態では、クロック内の特定のタイミングで、単一光子のみが含まれるような光パルスを効率よく発生させるものである。

【0030】（光子対発生器の説明）図2において、9は非線型光学媒質11をポンプするポンプ光10の光源である。非線型光学媒質11では、ダウンコンバージョンによってポンプ光10の波長 λ の2倍の波長 2λ をもつアイドラー光子5とシグナル光子6が発生する。本実施の形態では、ポンプ光源9として351.1nmの波長をもつアルゴンレーザーを用いている。このとき、アイドラー光子5とシグナル光子6は、互いに発生する光子のエネルギーの和が、351.1nmの波長の光子のエネルギーに等しい対、つまりそれぞれ702.2nm

の波長の光子としてそれぞれ発生する。

【0031】特願平9-353078の「光子ビーム発生装置」に詳しく記載されているように、非線形光学媒質11の光学軸を、ポンプ光10に対してある特定の角度に設定することにより、発生するアイドラ光子5とシグナル光子6を、ビーム状に、かつ、高効率で発生させることが可能である。図3に、 β -Barium-Boron-Oxide (BBO) 結晶の光学軸が、ポンプ光に対して50.4度の角度に設定されている場合のチューニングカーブを示す。図3において、横軸は発生している光子の波長を、縦軸は、ポンプ光の入射方向に対する光子の出射方向を示している。図に見られるように2つのチューニングカーブが波長702.2nmに対応する直線に接している。この条件においては、それぞれ波長702.2nmの蛍光対がそれぞれプラス3度とマイナス3度の方向にビーム状に射出される。このような非線形光学媒質を用いることにより、ポンプ光の入射パワーに対して効率よく光子対を発生し、結果として同等のレートで単一光子を発生する場合に、装置の消費電力を低く押さえることができています。

【0032】アイドラ光子5は、レンズ15によって集光され、波長 λ の光子を選択的に透過するフィルタ17を通して光子数検出器2に集光される。

【0033】（光子検出器の説明）この実施の形態では光子検出器2として、SEIKO EG&G社製のSPCM-AQを用いた。この光子検出器は、受光素子としてアバランシェフォトダイオード（APD）をアクティブクエンチングのガイガーモードで駆動したものである。APDは、ある一定電圧（ブレイクダウン電圧）以上の電圧を印可すると、単一の光子が入射しただけでも、それにより誘起された内部キャリアが印加電圧によって加速され他のキャリアを励起する過程が終わることなく繰り返されるブレイクダウン状態になる。このままでは次の光子の入射を検出することができない。クエンチングとは、光子の入射によってブレイクダウン状態の発生を検出した場合、APDへの印加電圧をブレイクダウン電圧以下に下げてブレイクダウン状態を終了させ、次の光子の入射を検出できるようにすることである。電圧供給部分に、単に直列抵抗などの受動素子を挿入してそのような効果を持たせた場合をパッシブクエンチングと呼び、増幅器等を用いてそのような制御を能動的に行う場合をアクティブクエンチングと呼ぶ。SPCM-AQでは、光子が入射してから次の光子が検出できるようになるまでの時間である検出器の不感時間（dead time）は100ns程度、出力パルス幅は9ns程度である。もちろん、パッシブクエンチングの光子検出器を用いることも可能である。

【0034】（制御方法の説明）アイドラ光子5が光子検出器2に入射した場合の、ゲート装置4の制御のための、微分回路3、クロック発生部7、およびゲート装

置制御部8の動作について、図4を用いて説明する。図4において、18はクロック発生部から出力されるクロックパルス、19はアイドラ光子5の光子検出器2への入射時刻を示すグラフ、20は検出器2から出力されるシグナルパルスの様子を示すグラフ、21は微分回路からの出力信号を示すグラフ、22はゲート装置制御部からの出力信号等を示すグラフである。

【0035】本実施の形態では、18に示されるクロックパルスが立ち上がってから一定時間 τ の間に、光子が1つだけ含まれるような光パルスを出力し、それ以外の時間は光子を出力しないような動作が実現されている。

【0036】アイドラ光子5は、時間 τ の間に発生する確率が十分高くなるように設定する。つまり、アイドラ光子の発生光子数を毎秒N個とした場合、 $N > 1/\tau$ となるように設定する。

【0037】19にみられるような各時刻のアイドラ光子の入射に伴い、20に見られるようなシグナルパルス列が検出器2から出力される。たとえば光子の入射が時刻23に起こった場合、それに応じて検出器2からはパルス25が出力されるが、その直後の時刻24に入射した光子に対しては、パルスは発生しない。発生したパルス25は、微分回路を経て26のような微分信号に変換される。ゲート装置制御部をトリガする信号としては、光子検出器からの出力パルス25を直接用いることも可能ではあるが、このような微分信号26をトリガとして用いることにより、シグナルパルス25の形状の揺らぎによる光子検出時刻の揺らぎを抑えることができる。

【0038】ゲート装置制御部8では、クロックパルス18の立ち上がり後、最初の微分信号26のトリガのみに応じて、短い時間 δ だけゲート装置4を開放する制御信号27が生成される。アイドラ光子5に対応したシグナル光子6のゲート装置4での透過時刻は、グラフ22で点線および実線の棒で示されている。アイドラ光子5によるシグナルパルス20は、電子回路の信号処理時間だけ遅れているので、シグナル光子6も遅延手段によって同じ時間だけ遅延させるが、図4ではこれを省略して示している。ゲート装置4では、シグナル光子28は透過できるが、ゲート装置の開放時間 δ を短くすることにより、引き続きシグナル光子29、およびそのクロック内のその他のシグナル光子の射出を抑制することができる。次のクロックでは、同様にシグナル光子30が射出される。

【0039】このシグナル光子6は、レンズ15によって集光され、波長 2λ の光子を選択的に透過するフィルタ16を通しながら、光ファイバ10へと集光される。14は、光ファイバ12へシグナル光6を効率的に入射するための、微動装置である。

【0040】光ファイバ12の長さは、光子がゲート装置4へ伝達するのに、図4を用いて説明したような信号処理に要する時間だけ必要となるように設定される。も

ちろん、その時間の微調整は、光ファイバ12の長さの調整でも、またゲート装置制御部8等に設けられた信号遅延器によっても可能である。

【0041】以上のような構成により、クロックパルスが立ち上がってから一定時間 τ の間に、光子が1つだけ含まれるような光パルスを出し、それ以外の時間は光子を出さないような単一光子源を実現した。

【0042】もちろん、図4に示したクロック信号18、シグナルパルス25、制御信号27や微分信号26を外へ出力することは大変に有用である。クロック信号18は、量子暗号通信システムの全システムを制御する信号として使用することができる。また、クロック発生部7を外から供給されるクロックによりまかなう、もしくは同期させることも可能である。

【0043】また、量子暗号通信システムにおける光子の受信者は、シグナルパルス25や微分信号26を用いてゲート装置4の開放時間 δ を短くすることにより、信号光子をその他のノイズ信号から分離して受信することが可能になる。

【0044】この実施の形態では、時間 τ を検出器の不感時間以下とすることによりクロック開始から1つ目の光子のみを透過させたが、時間 τ での設定に、クロック18でセットされ、出力パルス数があらかじめ設定した数Nに達したときにリセットされるプリセットカウンタを用いれば、クロック内でN個の光子を出力するようにすることも可能である。この場合、一定時間にN個の光子が含まれるような状態を生成することができる。

【0045】この実施の形態においては連続発振光（CW光）を、ポンプ光10として用いたが、パルス光をポンプ光として用いることも可能である。また、非線型光学媒質11の前後にポンプ光を反射する鏡を設置しキャビティを構成することにより、より効率的にアイドラ光子5およびシグナル光子6を発生させることももちろん可能である。

【0046】実施の形態2

実施の形態1においては検出器2として、アクティブクエンチング制御のAPDを用いたが、一定時間だけブレイクダウンを越える電圧をAPDに印加することも可能である。この場合の制御の様子を図5を用いて説明する。図5において、31はAPDに加えられる印加電圧の時間変化を示すグラフ、32はAPDからのシグナルパルスを示すグラフ、33は微分回路3から出力される微分信号を示すグラフである。

【0047】実施の形態1においてアクティブクエンチングについて説明した部分で述べたように、APDにブレイクダウン電圧よりも高い電圧が印加された場合、一光子の入射に対して無限大の増倍率をもち、APDの出力は飽和したブレイクダウン状態になる。この実施の形態では、このAPDへの印加電圧を、クロック18に応じて制御する。

【0048】18に見られるクロックの立ち上がりから時間 τ 程度の間だけ、印加電圧をブレイクダウン電圧より高い状態（34）にする。その間、光子が入射すると同時にAPDはブレイクダウン状態になり出力は飽和し、その状態は印加電圧がブレイクダウン電圧より低くなるまで持続する。このため、APDからは35のような出力パルスが得られる。その微分信号36の立ち上がりによりゲート装置制御部8をトリガし、単一光子を切り出すことが可能になる。

【0049】アクティブクエンチング制御のAPDを用いる場合、その不感時間やパルス長さはクエンチングに使用する回路による制限から、短くすることは困難であり、1クロック時間が検出器の不感時間やパルス長さ程度が限界であったが、この方法では、それよりも短いクロック時間を実現することが可能である。

【0050】実施の形態3

実施の形態1においては、発生するシグナル光の波長は702.2nmであったが、この波長は適切な非線型光学媒質を選択することにより任意に変えることができる。たとえば、光ファイバーを用いた通信に一般に用いられている、1550nm付近、1310nm付近、また800nm付近の波長を発生させることも可能である。

【0051】実施の形態1（図3）に示した光子対の発生方法は、波長が等しく角度の広がり小さい光子対ビームを得るのに適した方法であるが、別の目的に対しては、BBO結晶の光学軸方向を変えることにより、波長の異なる光子対を得ることもできる。この場合には、図3の2つのチューニングカーブはそれぞれ異なる波長に対応する直線に接する。この場合にも、光子の取り出し方向は、図3に示したチューニングカーブの放物線の頂点に相当する角度で取り出す。この条件によれば、一般に円錐状に広がる光子が一本のビームにまとまり、分布密度の高い光子ビームが得られる。

【0052】本発明のこのようなその他の実施の形態としては、図2において、ポンプ光源7として半導体励起Yagレーザのアップコンバージョンレーザを用いて532nmのポンプ光8を発生させ、シグナル光子6として1310nmの光子を、アイドラ光子5として896nmの光子を発生させる装置がある。このとき、特願平9-353078の「光子ビーム発生装置」に詳しく記載されているように、非線型光学媒質の光学軸のなす角度を、そのチューニングカーブがそれぞれ1310nmと896nmで接するような角度に設定し、光子対の発生効率を高めている。また、このようにアイドラ光子の波長を可視光の波長に近い近赤外域に設定することにより、光子数検出器2の量子効率が高い状態で光子数の検出が可能になっている。

【0053】このような構成により、光ファイバー中での伝送損失の小さい1310nm付近の光子を、クロッ

クパルスが立ち上ってから一定時間 τ 以内に2光子が密集して存在しないようにして発生させることが可能になった。また、本実施の形態においては、結晶の角度を上記のように設定することにより効率よく光子対を発生させることが可能になり、また、アイトラ光子の光子数の高い検出効率を維持することが可能になっており、結果として装置の消費電力を減少することができた。

【0054】実施の形態4

本発明のその他の実施の形態を図6に示す。この実施の形態において、9は導波路型非線型光学媒質38をポンプするポンプ光源、37はポンプ光をファイバー中を導波させる光ファイバ、39は導波路型非線型光学媒質38から発生した蛍光対とポンプ光とを分別する導波路型フィルタ、40はポンプ光の射出口、41は蛍光対を2つの分岐に分別する導波路型フィルタである。

【0055】この実施の形態では、パラメトリック蛍光対は導波路型非線型光学媒質38において発生する。蛍光対は、それぞれ縦、横の偏光を持っており、偏光ビームスプリッターとして動作する導波路型フィルタ41において、そのうちの一方の偏光をもつものが光子数検出器2へ、もう一方が光ファイバ12へと伝達される。

【0056】このような構成により、装置を小型化することが可能になり、また、光学的アライメントが不要になった。

【0057】この実施の形態では、導波路型非線型光学媒質38として、疑似位相整合型非線型光学媒質を用いる。日本物理学会講演概要集第53巻第2号第2分冊341ページの佐中らによる「光導波路型非線型素子による2光子相関現象I」によって述べられているように、疑似位相整合型の導波路型非線型媒質では、使用するポンプ光と発生する光子が平行に発生するような条件を満たすような非線型性を、疑似位相整合により得ることが可能になる。

【0058】これにより、ポンプ光と発生光子の波長を任意に選択することが可能になった。

【0059】もちろん、この実施の形態においても、ポンプ光源9としては、パルス光源およびCW光源を用いることが可能である。また、導波型非線型光学媒質38の前後にポンプ光を反射する鏡を設置しキャビティを構成することにより、より効率的にアイトラ光子およびシグナル光子を発生させることももちろん可能である。

【0060】実施の形態5

その他の実施の形態として、図2におけるゲート装置4にシャッターを2つ備えたものを図7に示す。図7において、10はシグナル光子のゲート装置への到達時刻を遅延させるための光ファイバ、43、45は電気光学素子、42、44、46は偏光板、47はノットゲート、48は遅延器、8はコントロール装置である。このとき、偏光板44および46は、偏光板42を通過した光の偏光に対して最大の透過率を持ち、それと直交する偏

光をもつ光は透過しないように設定する。また、電気光学素子43と45は、与えられる制御信号の論理が1であれば偏光を90度回転し、0であれば偏光を回転しないものとする。偏光板の対と、それらに挟まれた偏光を回転させる電気光学素子によって、シャッターを構成することが可能であるが、この実施の形態においては偏光板44が、それら2つのシャッターで共用されている形である。

【0061】ゲート装置はできるだけ、光子が存在している間のみ開の状態を保ち、それ以外の間は閉であることが望ましい。しかし、その応答時間の短さが特徴である電気光学素子でも、単体では、そのゲート時間はその電気光学素子の繰り返し応答時間によって規定される時間以下には設定できなかった。この実施の形態は、ゲート装置を2つ備えることにより、ゲート装置の繰り返し応答時間より短時間でのゲート操作を実現した。

【0062】このゲート回路の動作を、図8を用いて説明する。図8において、横軸は時間を表す。一番上のグラフは、ゲート操作部に目標とする光子数の状態が到達している確率を、グラフAは、図7のA点での信号を、グラフBは同様に図7のB点での信号の状態を表す。Aはコントロール装置からの制御信号そのものと考えてよい。電気光学素子45は偏光子44、46との組み合わせにより論理0が入力されているときは光子を透過させ、また論理1が入力されているときは光子を遮蔽する。

【0063】電気光学素子43も、偏光子42と44との組み合わせにより同様に働く。

【0064】図8のグラフAの時刻T0における状態のように、コントロール装置からの制御信号は常時は1に設定する。この場合、電気光学素子45によって、ゲート装置としては光子を透過させない。このとき、電気光学素子43には、ノットゲート47によって論理0が入力されており、光子を透過させる。

【0065】コントロール装置8は、偏光を光子がゲート操作部に到達すると予測される直前の時刻T1に電気光学素子45が開になるように、出力の論理を1から0に変化させる。このとき、遅延器48の働きにより、電気光学素子43は論理0のままである。このとき、光子はゲート装置を透過可能になっている。この状態は遅延器によって設定された時間の間継続する。その遅延の後、T2において電気光学素子への論理が1にフリップし、電気光学素子43によって構成されるシャッターを光子は透過できなくなる。時刻T3で、制御信号は再び0から1へと変化し、電気光学素子45は閉の状態に移り、T4で初期状態に戻る。

【0066】以上のような構成により、非常に短い時間だけゲート装置を開くことが可能になり、必要な光子のみを選択的に射出することが可能になった。

【0067】この実施の形態においては電気光学素子を

用いてシャッターを構成したが、もちろんその他のシャッターを用いることもできる。たとえば、光光スイッチを用いれば、より高速なシャッター動作を実現できる。また、音響光学素子を用いた場合、その繰り返し速度より高速なシャッターを安価に構築できる。機械式シャッターを用いることも可能である。

【0068】

【発明の効果】本発明の第1の構成にかかわる単一光子発生装置は、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えているので、クロックパルスが立上ってから一定時間内に特定の数を下回る数の光子を発生することができる。

【0069】本発明の第2の構成にかかわる単一光子発生装置は、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内の最初の光子検出器からの信号に対してのみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えているので、クロックパルスが立上ってから一定時間内に1個のみの光子を発生することができる。

【0070】本発明の第3の構成にかかわる単一光子発生装置は、第1、第2のいずれかの構成において、前記光子対源として、ポンプ光光源と、前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質を備えているので、クロックパルスが立上ってから一定時間内に特定の数を下回る数の光子または1個のみの光子を効率よく発生させることができる。

【0071】本発明の第4の構成にかかわる単一光子発生装置は、第3の構成において、前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の単一波長 a に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えているので、特定の単一波長の光子対を効率よく発生させることができる。

【0072】本発明の第5の構成にかかわる単一光子発生装置は、第3の構成において、前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の波長 a 、 b に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えているので、特定の2つの波長の光子対を効率よく発生させることができる。

【0073】本発明の第6の構成にかかわる単一光子発生装置は、第3の構成において、前記ポンプ光が入射す

る非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えているので、光学的な調整が不要な小型の単一光子発生装置が実現できる。

【0074】本発明の第7の構成にかかわる単一光子発生装置は、第3～6のいずれかの構成において、前記ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、擬位相整合型非線型光学媒質を備えているので、ポンプ光と平行な方向に光子対を発生させることができる。

【0075】本発明の第8の構成にかかわる単一光子発生装置は、第1～7のいずれかの構成において、前記シグナル光子の射出を制御するゲート装置として、シャッターを複数備えているので、シャッターの開閉時間より短い時間で開閉するゲートを実現できる。

【0076】本発明の第9の構成にかかわる単一光子発生装置は、第1～8のいずれかの構成において、前記光子対から発生したシグナル光子を、その光子の射出を制御するゲート装置に到達させる光ファイバーを備えているので、ゲートの開閉時刻とゲートへのシグナル光子の到達時刻を一致させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施の形態の全体構成図である。

【図2】 この発明の一実施の形態の構成図である。

【図3】 非線型光学媒質で発生する光子の波長と放出角度の関係を示す図である。

【図4】 この発明の一実施の形態の動作を説明するための図である。

【図5】 この発明の一実施の形態の動作を説明するための図である。

【図6】 この発明の一実施の形態の全体構成図である。

【図7】 この発明の一実施の形態で使用するゲート装置部の構成図である。

【図8】 この発明の一実施の形態で使用するゲート装置部の動作を説明するための図である。

【図9】 従来の技術の一例の全体構成図である。

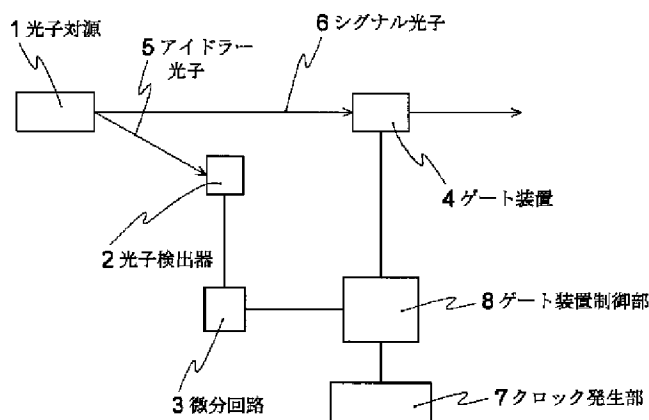
【符号の説明】

1 光子対源、2 光子検出器、3 微分回路、4 ゲート装置、5 アイドラー光子、6 シグナル光子、7 クロック発生部、8 ゲート装置制御部、9 ポンプ光光源、10 ポンプ光、11 非線型光学媒質、12, 13, 37 光ファイバ、14 微動装置、15 レンズ、16, 17, 39, 41 フィルタ、18 クロックパルス、19 アイドラ光子の検出器への入射時刻、20, 32 シグナルパルス、21 微分回路からの出力信号、22 ゲート装置制御部からの出力信号、23, 24 アイドラ光子入射時刻、25 パルス、26, 33, 36 微分信号、27 制御信号、28, 29, 30 シグナル光子ゲート通過時刻、31 印加電圧の時間変化、34 ブレークダウン電圧より高い状

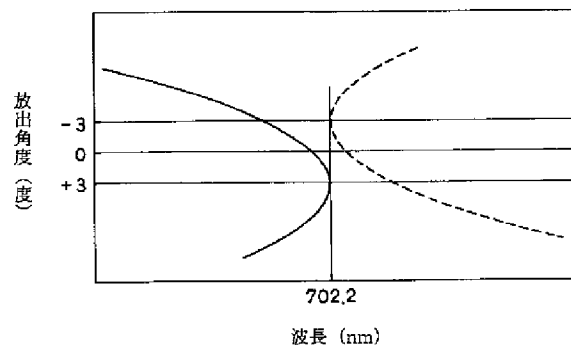
態、35 APD出力信号、38 導波路型非線型光学媒質、40 ポンプ光射出口、42, 44, 46 偏光板、43, 45 電気光学素子、47 ノットゲート、

48 遅延器、49 光検出器およびゲートコントロール装置。

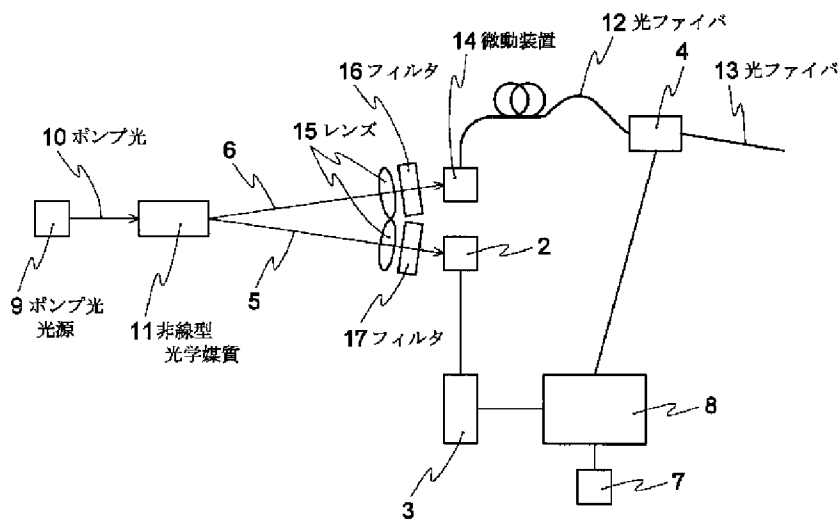
【図1】



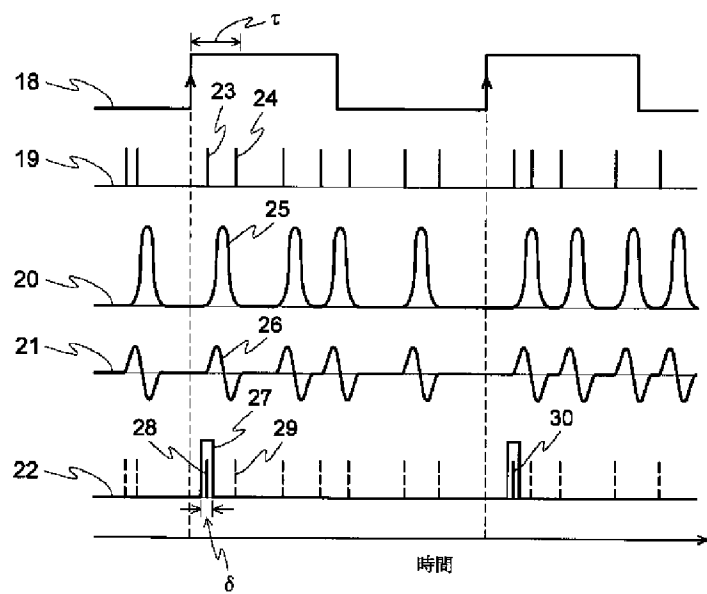
【図3】



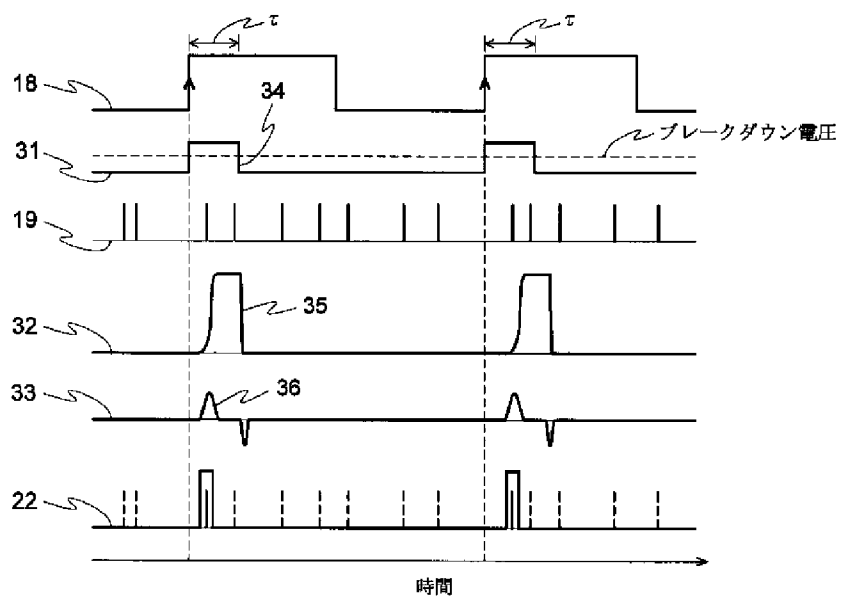
【図2】



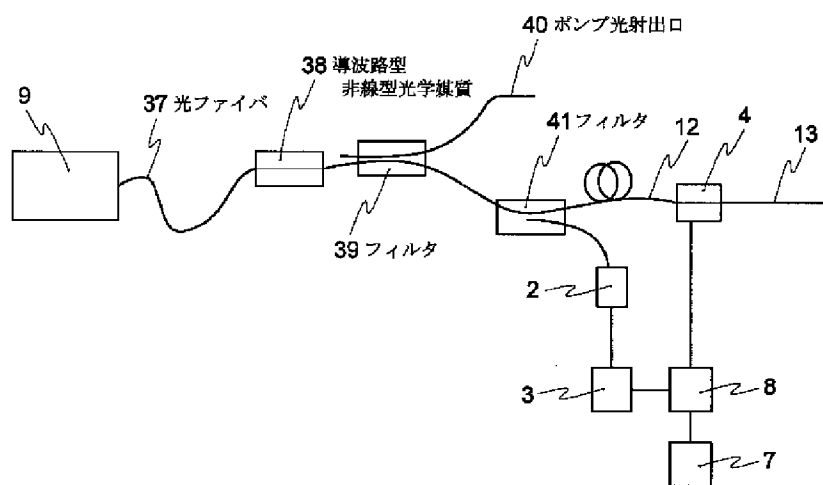
【図4】



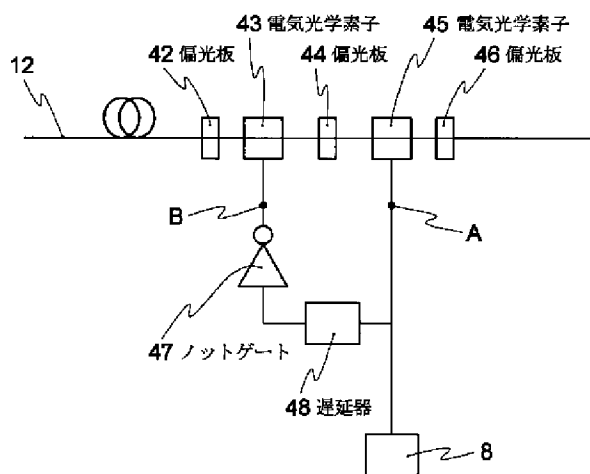
【図5】



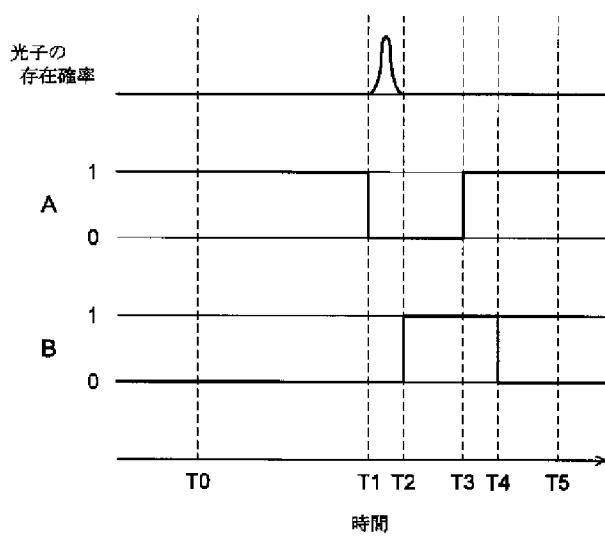
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図9】

